Podstawy automatyki / Józef Lisowski. – Gdynia, 2015

Spis treści

PRZEDMOWA **9**

WSTĘP **11**

1. POJĘCIA PODSTAWOWE I RODZAJE UKŁADÓW AUTOMATYKI **17**
1.1. Automatyka, sterowanie i regulacja 17
1.2. Obiekt regulacji i proces sterowania 17
1.3. Układ otwarty i zamknięty 17
1.4. Sygnały 19
1.5. Elementy układów automatyki 20
1.6. Podział układów ze względu na liniowość elementów 21
1.7. Podział układów ze względu na rodzaj sygnałów 21
1.8. Podział układów ze względu na zadanie 21
1.9. Podział układów ze sztuczną inteligencją 23
1.10. Pytania 24

2. METODY OPISU UKŁADÓW AUTOMATYKI **25**
2.1. Równanie różniczkowe 25
2.1.1. Zasada Hamiltona i równanie Lagrange'a 25
2.1.2. Podstawowe elementy rzeczywistych układów automatyki 27
2.1.3. Ogólne równanie różniczkowe 28
2.2. Transmitancja 30
2.2.1. Przekształcenie Laplace'a 30
2.2.2. Transmitancja operatorowa 32
2.2.3. Transmitancja widmowa 34
2.2.4. Macierz transmitancji 35
2.3. Równania stanu i wyjścia 36
2.3.1. Postać ogólna 36
2.3.2. Równania liniowe 37
2.4. Charakterystyki czasowe 38
2.4.1. Charakterystyka skokowa 38
2.4.2. Charakterystyka impulsowa 38
2.4.3. Charakterystyka prędkościowa 39
2.4.4. Charakterystyka przyspieszeniowa 39
2.5. Charakterystyki częstotliwościowe 39
2.5.1. Charakterystyki - amplitudowa i fazowa 40
2.5.2. Wykres Nyquista 42
2.5.3. Wykres Bode'a 43
2.6. Pytania 45

3. PODSTAWOWE ELEMENTY UKŁADÓW AUTOMATYKI 47
3.1. Element bezinercyjny 47
3.1.1. Przykłady elementów bezinercyjnych 48
3.2. Element inercyjny 50
3.2.1. Element inercyjny I rzędu 50
3.2.2. Przykłady elementów inercyjnych I rzędu 50
3.2.3. Element inercyjny II rzędu 53
3.2.4. Przykłady elementów inercyjnych II rzędu 53
3.3. Element różniczkujący 55
3.3.1. Element różniczkujący idealny 55
3.3.2. Przykłady elementów różniczkujących idealnych 57
3.3.3. Element różniczkujący rzeczywisty 58
3.3.4. Przykłady elementów różniczkujących rzeczywistych 59
3.4. Element całkujący 61
3.4.1. Element całkujący idealny 61
3.4.2. Przykłady elementów całkujących idealnych 62
3.4.3. Element całkujący rzeczywisty 63
3.4.4. Przykłady elementów całkujących rzeczywistych 65
3.5. Element oscylacyjny 66
3.5.1. Przykłady elementów oscylacyjnych 68
3.6. Element opóźniający 70
3.6.1. Przykłady elementów opóźniających 71
3.7. Pytania 72

4. IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW REGULACJI 74
4.1. Identyfikacja czynna 74
4.2. Identyfikacja bierna 75
4.3. Charakterystyki skokowe typowych obiektów regulacji 77
4.3.1. Obiekt statyczny 77
4.3.2. Obiekt astatyczny 78
4.4. Pytania 79

5. SCHEMATY BLOKOWE UKŁADÓW AUTOMATYKI 80
5.1. Układanie schematów 80
5.2. Zasady przekształcania schematów 81
5.2.1. Połączenie szeregowe 81
5.2.2. Połączenie równoległe 82
5.2.3. Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym 82
5.2.4. Połączenie mieszane 83
5.3. Pytania 90

6. WYMAGANIA DLA UKŁADÓW AUTOMATYKI 91
6.1. Zapas stabilności 91
6.1.1. Stabilność asymptotyczna 91

6.1.2. Kryterium Hurwitza 92
6.1.3. Kryterium Nyquista 95
6.1.4. Kryterium logarytmiczne 97
6.2. Jakość regulacji 99
6.2.1. Kryteria czasowe 99
6.2.2. Wskaźnik jakości regulacji 100
6.2.3. Kryteria całkowe 101
6.2.4. Linie pierwiastkowe 102
6.3. Uchyb ustalony 107
6.3.1. Uchyb nadążania 108
6.3.2. Uchyb zakłóceniowy 112
6.3.3. Warunki dla zerowego uchybu ustalonego 112
6.4. Pytania 113

7. REGULACJA CIĄGŁA 114
7.1. Rodzaje regulatorów 114
7.1.1. Podział regulatorów ze względu na wykorzystanie energii pomocniczej 114
7.1.2. Podział regulatorów ze względu na rodzaj nośnika energii 114
7.1.3. Podział regulatorów ze względu na rodzaj sygnału wyjściowego 114
7.2. Regulatory bezpośredniego działania 115
7.3. Dobór typu regulatora do obiektu 117
7.4. Regulator P 118
7.5. Regulator I 119
7.6. Regulator PI 120
7.7. Regulator PD 121
7.8. Regulator PID 122
7.8.1. Struktury realizacyjne regulatorów PID 124
7.9. Metody doboru nastaw regulatorów PID 127
7.9.1. Metoda Zieglera-Nicholsa 127
7.9.2. Metody tabelaryczne 128
7.9.3. Metody symulacyjne 130
7.10. Przykłady okrętowych regulatorów PID 132
7.11. Pytania 135

8. REGULACJA STANU OBIEKTU 136
8.1. Opis stanu obiektu sterowania 136
8.2. Schemat blokowy układu regulacji wykorzystującego zmienne stanu do sterowania 136
8.3. Wyznaczanie współczynników regulatora stanu obiektu 138
8.4. Pytania 139

9. REGULACJA KOREKCYJNA 140
9.1. Korekcja szeregowa 140
9.1.1. Człon korekcyjny różniczkujący 141

9.1.2. Człon korekcyjny całkujący 141
9.1.3. Człon korekcyjny różniczkująco-całkujący 142
9.1.4. Dobór korektora szeregowego do obiektu 143
9.1.5. Realizacja elektryczna członów korekcji szeregowej 146
9.2. Korekcja równoległa 147
9.2.1. Człon korekcyjny całkujący idealny 148
9.2.2. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty 148
9.2.3. Dobór korektora równoległego do obiektu 148
9.2.4. Korekcja równoległa addytywna 148
9.3. Korekcja ze sprzężeniem zwrotnym 150
9.3.1. Człon korekcyjny inercyjny 151
9.3.2. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty 151
9.3.3. Człon korekcyjny różniczkujący rzeczywisty z inercją 152
9.3.4. Dobór korektora w sprzężeniu zwrotnym do obiektu 152
9.4. Pytania 153

10. REGULACJA KASKADOWA 154
10.1. Linearyzacja nieliniowej charakterystyki statycznej obiektu 154
10.2. Kompensacja dynamiki części obiektu 156
10.3. Kompensacja zakłóceń 156
10.4. Układ zamknięto-otwarty 158
10.5. Pytania 159

11. REGULACJA WIELOWYMIAROWA 160
11.1. Wielowymiarowy układ regulacji 160
11.2. Wielowymiarowy obiekt regulacji 161
11.3. Regulator wielowymiarowy 162
11.4. Odsprzężenie układu regulacji 162
11.5. Pytania 165

12. REGULACJA CYFROWA 166
12.1. Układ dyskretny 166
12.1.1. Twierdzenie Kotielnikowa-Shannona 168
12.1.2. Opis dyskretny obiektu ciągłego 169
12.1.3. Przekształcenie z 172
12.1.4. Transmitancja impulsowa 178
12.1.5. Stabilność układu 179
12.2. Bezpośrednie sterowanie cyfrowe 181
12.2.1. Algorytm pozycyjny PID 182
12.2.2. Algorytm przyrostowy PID 183
12.3. Dobór parametrów regulatora metodą Takahashiego 183
12.4. Sterowniki programowalne PLC 184
12.5. Mikrokontrolery 187
12.6. Pytania 190

13. REGULACJA NIELINIOWA **191**
13.1. Charakterystyki statyczne elementów nieliniowych 192
13.1.1. Zastępcze charakterystyki statyczne podstawowych połączeń układów nieliniowych 193
13.2. Stabilność układów nieliniowych 195
13.2.1. I metoda Lapunowa 197
13.2.2. II metoda Lapunowa 197
13.3. Metody analizy układów nieliniowych 198
13.3.1. Płaszczyzna fazowa 198
13.3.2. Funkcja opisująca 202
13.4. Kryterium stabilności Nyquista 206
13.5. Regulacja przekaźnikowa 207
13.5.1. Regulacja dwupołożeniowa 208
13.5.2. Regulacja trójpołożeniowa 210
13.5.3. Regulacja krokowa 210
13.5.4. Przemysłowe regulatory przekaźnikowe 212
13.6. Pytania 214

14. REGULACJA EKSTREMALNA **216**
14.1. Struktury układów sterowania 217
14.2. Metody szukania ekstremum 218
14.3. Przebieg procesu regulacji 221
14.4. Pytania 223

15. STEROWANIE OPTYMALNE **224**
15.1. Rodzaje zadań i metod optymalizacji 225
15.2. Optymalizacja statyczna 237
15.2.1. Metody deterministyczne 238
15.2.2. Metody stochastyczne 263
15.3. Optymalizacja dynamiczna 282
15.4. Optymalizacja wielokryterialna 301
15.4.1. Optymalizacja wielokryterialna statyczna 301
15.4.2. Optymalizacja wielokryterialna dynamiczna 309
15.5. Pytania 310

16. STEROWANIE ADAPTACYJNE **311**
16.1. Układ z przestrajaniem wzmocnienia 312
16.2. Układ z modelem odniesienia 312
16.3. Regulator samonastrajalny 314
16.4. Okrętowe regulatory adaptacyjne 315
16.5. Pytania 317

17. STEROWANIE ROZGRYWAJĄCE **318**
17.1. Klasyfikacja gier 319
17.2. Gra różniczkowa procesu sterowania obiektami 319

17.3. Rozgrywające sterowanie statkiem 321
17.3.1. Rodzaje sterowania ruchem statku 323
17.3.2. Gra dynamiczna 324
17.3.3. Gra pozycyjna 326
17.3.4. Gra macierzowa 331
17.4. Wrażliwość sterowania rozgrywającego 336
17.5. Pytania 340

18. METODY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W AUTOMATYCE 341
18.1. Systemy ekspertowe 341
18.2. Sterowanie rozmyte 354
18.3. Sztuczne sieci neuronowe 373
18.4. Algorytmy ewolucyjne 385
18.5. Pytania 394

19. AUTOMATYZACJA PROCESÓW STEROWANIA STATKIEM 395
19.1. Regulacja kursu 397
19.2. Stabilizacja trajektorii 412
19.3. Sterowanie prędkością 415
19.4. Sterowanie precyzyjne 418
19.5. Dynamiczne pozycjonowanie 425
19.6. Kompensacja przechyłów 437
19.7. Sterowanie bezpieczne 442
19.8. Optymalizacja drogi 448
19.9. Pytania 453

LITERATURA 455

oprac. BPK